

И.В. Снегирев, Ю.Н. Логинов

Статистическая обработка механических характеристик листового проката из сплава AlZnMgCu

Ключевые слова: прокатка, листовый прокат, алюминиевые сплавы, механические свойства, статистическая обработка.

Свойства сплавов системы AlZnMgCu ранее были исследованы в довольно широком круге работ [1, 2]. При этом отмечалось, что на свойства горячекатаного продукта оказывает значительное количество факторов [3, 4, 5]: направление прокатки, температура обработки, распределение относительных обжатий по проходам, скорость прокатки и т.д.

Вместе с тем, целесообразно иметь информацию о свойствах материала, которые удастся получить не в лабораторных условиях, а в текущем процессе производства. Похожая работа ранее была выполнена по отношению к анализу свойств проката из сплава на основе системы Al–Cu–Mg–Fe–Ni [6].

Целью настоящего исследования является статистическая оценка уровня механических свойств листового проката из указанного выше сплава.

Сплавы AlZnMgCu является термически упрочняемым деформируемым сплавом, его относят к серии 7000 по классификации ASTM. Объектом исследования выбран сплав В950ч, в отечественной числовой маркировке это сплав 1950, по классификации ASTM это сплав 7075.

Применяемая методика заключалась в переработке информации о свойствах листовой продукции из сплава 7075ч статистическими методами. В качестве состояния поставки выбрано М – мягкое (отожженный прокат). Листы из сплава В950ч в отожженном состоянии выпускаются согласно ОСТ 1 90070 как обшивочные листы и согласно ОСТ 1 90246 как листы конструкционного назначения для нужд авиационной промышленности. Требуемые механические свойства листов согласно вышеупомянутым стандартам приведены в табл. 1.

Таблица 1

Толщина, мм	Состояние поставки	Сплав	Временное сопротивление, МПа	Условный предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
От 0,5 до 10,5	Отожженное	В950ч	Не более 245	Не более 140	Не менее 10%

Прокатка осуществляется на станах кварто горячей и холодной прокатки. Листы толщиной 10 мм производят на стане горячей прокатки. Для получения листов толщиной менее 10 мм, горячекатаную заготовку, произведенную на стане горячей прокатки, дополнительно обжимают на стане холодной прокатки, с целью снижения разнотолщинности и улучшения планшетности листов. Цикл горячей прокатки подробно описан в источнике [7].

1 Huo W.T., Shi J.T., Hou L.G., Zhang J.S. An improved thermo-mechanical treatment of high-strength Al–Zn–Mg–Cu alloy for effective grain refinement and ductility modification. Journal of Materials Processing Technology. 2017. V. 239, p. 303-314.

2 Daghfaf O., Znaid, A., Mohamed A.B., Nasr R. Experimental study on mechanical properties of aluminum alloys under uniaxial tensile tests. International Journal of Technology. 2017. V. 8(4), p. 662-672.

3 Effects of rolling parameters of snake hot rolling on strain distribution of aluminum alloy 7075. Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2014. V. 24. P. 2150-2156.

4 Iriç S., Ayhan A.O. Dependence of fracture toughness on rolling direction in aluminium 7075 alloys. Acta Physica Polonica A. 2017. V. 132(3), p. 892-895.

5 Jiang J., Liu Y., Xiao G., Wang Y., Ju Y. Effect of pass reduction on microstructure, mechanical properties and texture of hot-rolled 7075 alloy. 2019. Materials Characterization. V. 147. P. 324-339.

6 Логинов Ю.Н., Головин М.А., Снегирев И.В. Статистический анализ механических свойств плоского проката из алюминиевого сплава системы Al–Cu–Mg–Fe–Ni. Технология легких сплавов. 2017. № 1. С. 29-34.

7 Loginov Y.N., Golovnin M.A. Technique of determining the parameters of rapid strengthening of an aluminum alloy during hot rolling. Russian Metallurgy (Metally). 2017. V.3, p. 188-192.

Отжиг листового проката проводился в электрических печах по режиму: $T_{\text{мет}} = 380-400^{\circ}\text{C}$, охлаждение со скоростью не более $30^{\circ}\text{C}/\text{час}$ до 150°C . Охлаждение с ограниченной скоростью необходимо чтобы избежать частичной заковки сплава.

Аналізу подвергался массив данных объемом 777 значений. Первым этапом статистического анализа являлось построение точечной диаграммы зависимости механических свойств листового проката из сплава В950ч от толщины. Данные приведены на рис. 1, 2, 3.

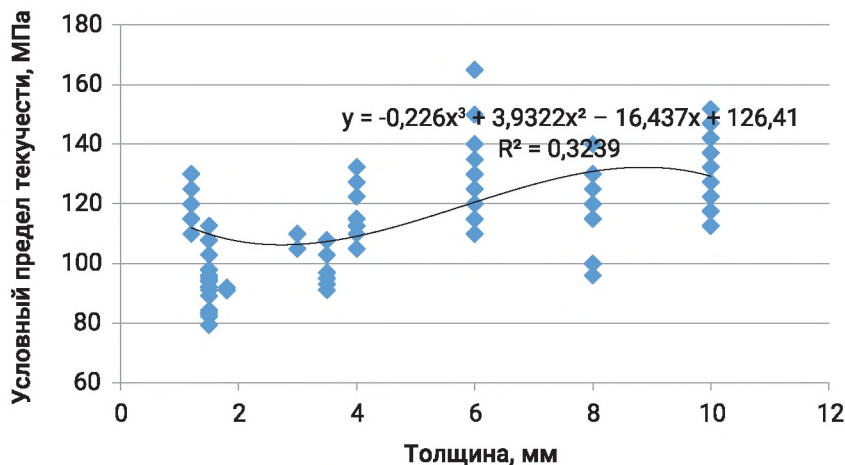


Рисунок 1. Зависимость условного предела текучести от толщины

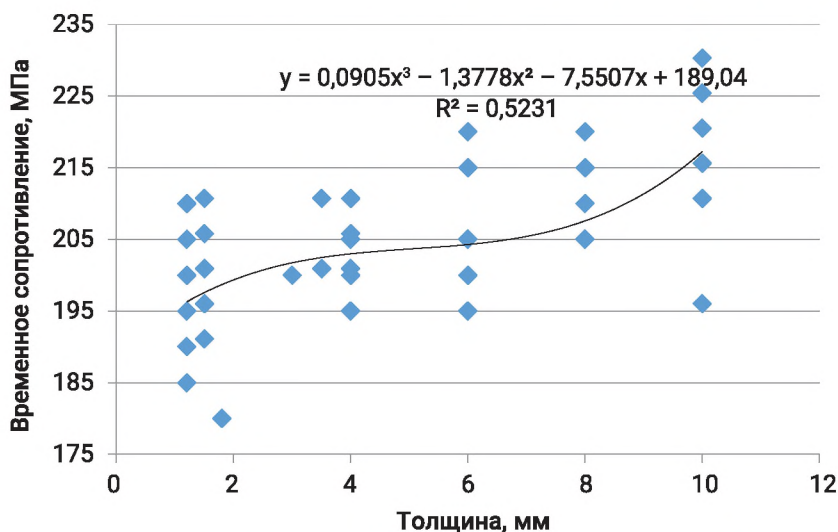


Рисунок 2. Зависимость временного сопротивления от толщины

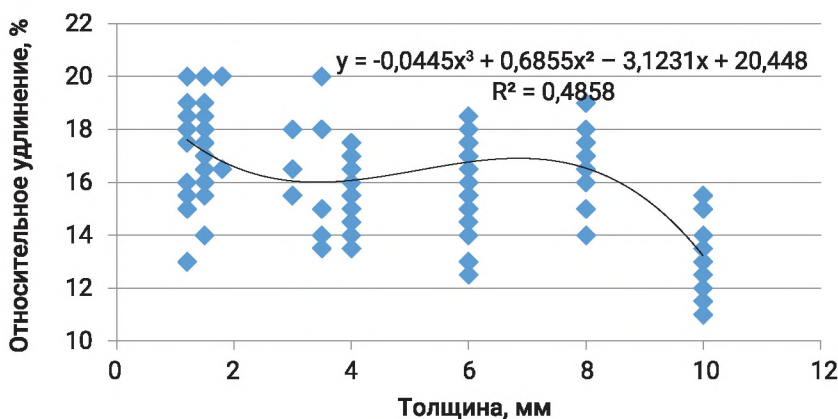


Рисунок 3. Зависимость относительного удлинения от толщины

Из рис. 1 и 2 видно, что прочность проката снижается вместе с толщиной, а судя по рис. 3 с ростом толщины снижается пластичность сплава. Это может быть связано с технологией получения листовой продукции. Листы толщиной 10 мм получают горячей прокаткой и последующим отжигом, для получения листов менее 10 мм получают горячекатаную заготовку на стане горячей прокатки, а затем производят холодную прокатку на конечную толщину. Причем чем меньше толщины листа, тем больше степень холодной обработки металла, что может улучшить проработку проката по толщине.

На следующем этапе массив данных разбили на диапазоны толщин, отражающих окончательную термообработку проката. Листы толщиной более 6 мм отжигают стопами в электрических шахтных печах. Прокат толщиной менее 6 мм отжигают в виде рулонов в электрических камерных печах. Для каждого диапазона толщин строились частотные гистограммы механических свойств.

На рис. 4 представлены частотные гистограммы временного сопротивления. В целом частотные гистограммы имеют отклонения от нормального закона распределения, разница в диаграммах в том, что центр распределения для толстых листов смещен правее относительно тонких, что говорит о большей прочности проката. Кроме того, обе диаграммы ассиметричны.

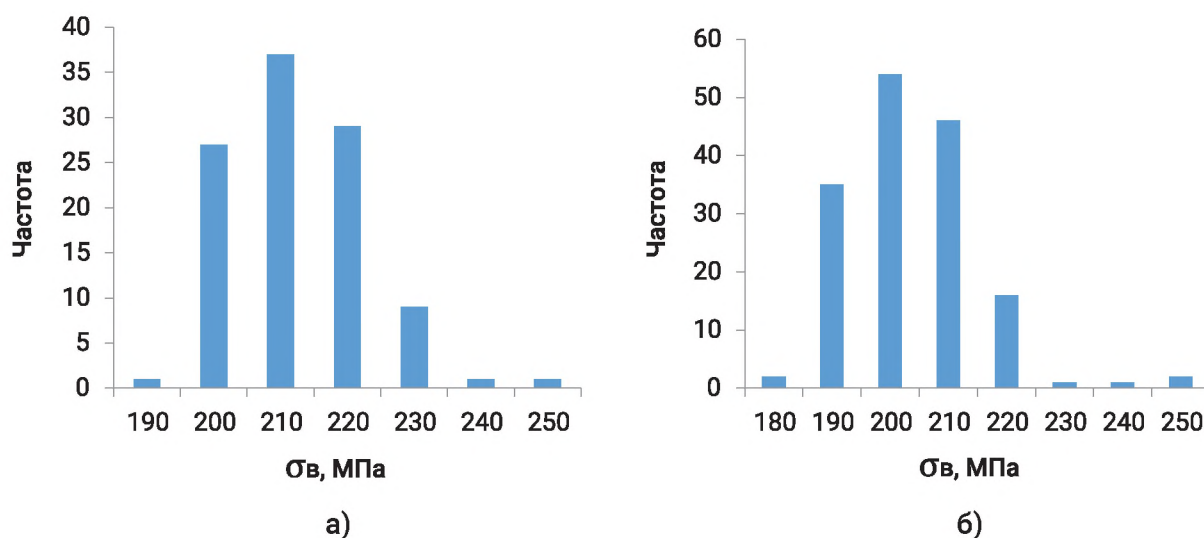


Рисунок 4. Частотные гистограммы временного сопротивления для листов толщиной от 6 до 10 мм (а) и от 1 до 6 мм (б) после отжига

Частотные диаграммы условного предела текучести (рис. 5) тоже имеют отклонения от нормального закона распределения, здесь выборка для толстых листов более приближена к классическому виду.

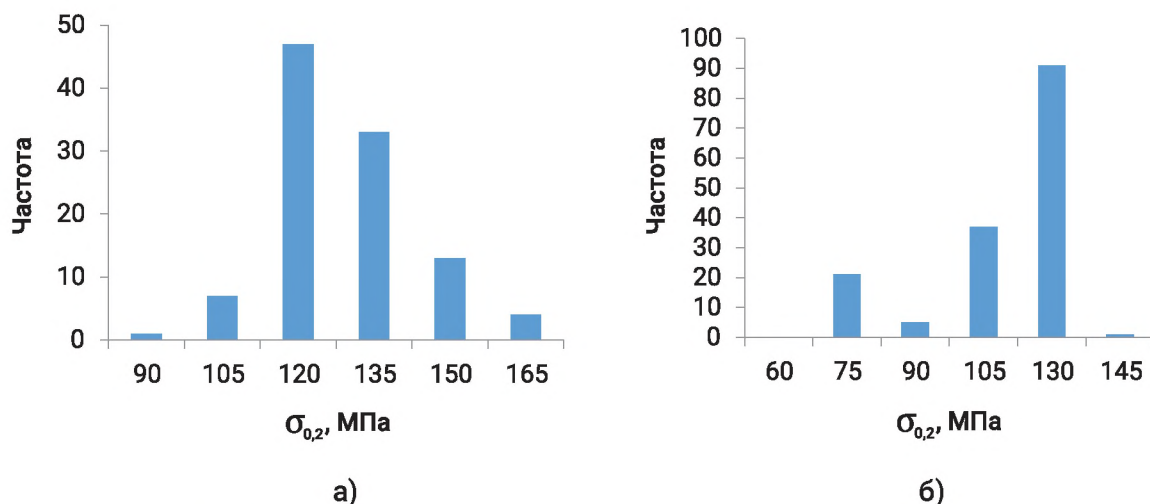


Рисунок 5. Частотные гистограммы условного предела текучести для листов толщиной от 6 до 10 мм (а) и от 1 до 6 мм (б) после отжига

Частотные гистограммы относительного удлинения до разрыва (рис. 6) имеют тенденцию к повышению значений при увеличении аргумента. Это говорит о том, что большая часть листов имеет повышенный уровень пластичности.

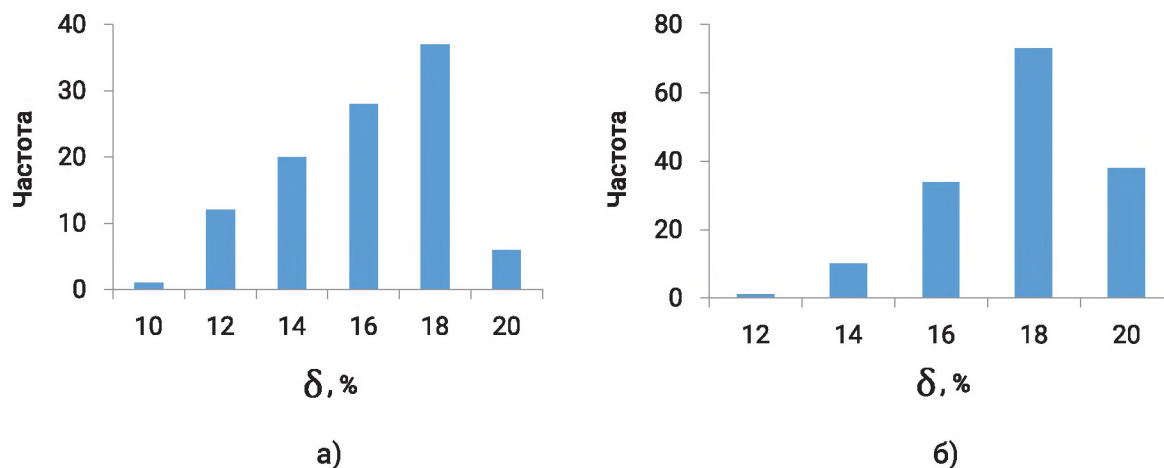


Рисунок 6. Частотные гистограммы относительного удлинения до разрыва для листов толщиной от 6 до 10 мм (а) и от 1 до 6 мм (б) после отжига

После отображения исходных данных в виде гистограмм выполнена статистическая обработка двух массивов. Данные представлены в таблице 2. Статистические расчеты были проведены с помощью пакета «Анализ данных» в табличном редакторе MS Office Excel. Все расчеты проводились с доверительной вероятностью 95%.

Таблица 2

ПАРАМЕТР	Толщина листов от 6 до 10 мм			Толщина листов от 1 до 6 мм		
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Среднее	208,44	123,80	15,33	197,88	105,18	17,07
Стандартная ошибка	0,85	1,23	0,21	0,80	1,47	0,13
Медиана	205,4	120	15,5	196	110	17,5
Мода	205	120	13,5	200,9	112,7	16,5
Стандартное отклонение	8,67	12,50	2,18	10,01	18,34	1,63
Дисперсия выборки	75,09	156,16	4,74	100,26	336,31	2,66
Эксцесс	2,00	0,85	-0,75	6,19	0,01	-0,31
Асимметричность	0,99	0,48	-0,43	1,56	-0,95	-0,29
Минимум	195	93,1	10	180	63,7	13
Максимум	245	160	19	249,9	132,3	20
Объем выборки	104	104	104	155	155	155
Уровень надежности (95,0%)	1,69	2,43	0,42	1,59	2,91	0,26

Средние значения временного сопротивления и условного предела текучести выше у толстых листов, по сравнению с тонкими и в тоже время пластичность у толстых листов ниже, чем у тонких. Это может быть связано с тем, что тонкие листы отжигаются перед резкой в размер в виде рулонов. Для нагрева металла в виде рулона потребуется больше времени по сравнению с нагревом листов стопами, что может послужить большему разупрочнению сплава. Кроме того, тонкие листы подвергаются холодной деформации, что повышает внутреннюю накопленную энергию и улучшает проработку листов по толщине.

Все выборки ассиметричны. Тонкие листы обладают большей дисперсией прочностных свойств и меньшей дисперсией пластических свойств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализирован массив данных объемом 777 значений механических свойств плоского проката из сплава В950ч в отожженном состоянии. Построены диаграммы зависимости механических свойств от толщины, которые показывают, что с ростом толщины снижается пластичность и повышается прочность проката. Это может быть связано как с окончательной термообработкой, так и с дополнительной холодной прокаткой тонких листов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huo W.T., Shi J.T., Hou L.G., Zhang J.S. An improved thermo-mechanical treatment of high-strength Al–Zn–Mg–Cu alloy for effective grain refinement and ductility modification. *Journal of Materials Processing Technology*. 2017. V. 239. P. 303-314.
2. Daghfaz O., Znaid, A., Mohamed A.B., Nasr R. Experimental study on mechanical properties of aluminum alloys under uniaxial tensile tests. *International Journal of Technology*. 2017. V. 8(4). P. 662-672.
3. Effects of rolling parameters of snake hot rolling on strain distribution of aluminum alloy 7075. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. 2014. V. 24. P. 2150–2156.
4. Iriç S., Ayhan A.O. Dependence of fracture toughness on rolling direction in aluminium 7075 alloys. *Acta Physica Polonica A*. 2017. V. 132(3). P. 892-895.
5. Jiang J., Liu Y., Xiao G., Wang Y., Ju Y. Effect of pass reduction on microstructure, mechanical properties and texture of hot-rolled 7075 alloy. 2019. *Materials Characterization*. V. 147. P. 324-339.
6. Логинов Ю.Н., Головнин М.А., Снегирев И.В. Статистический анализ механических свойств плоского проката из алюминиевого сплава системы Al–Cu–Mg–Fe–Ni. *Технология легких сплавов*. 2017. № 1. С. 29-34.
7. Loginov Y.N., Golovnin M.A. Technique of determining the parameters of rapid strengthening of an aluminum alloy during hot rolling. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2017. V.3. P. 188-192.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

СНЕГИРЕВ Игорь Владимирович, аспирант, Уральский Федеральный университет

E-mail: igor_snegirev@mail.ru

ЛОГИНОВ Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор, Уральский Федеральный университет

E-mail: j.n.loginov@urfu.ru